

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 8 日現在

機関番号：15301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20664

研究課題名（和文）活動性における個体差に対する進化生態学的研究

研究課題名（英文）Evolutionary ecological study for individual difference in locomotor activity

研究代表者

松村 健太郎（Matsumura, Kentarou）

岡山大学・環境生命自然科学学域・特任助教

研究者番号：50963229

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、全ゲノム情報が既知のモデル生物であるコクヌストモドキ（*Tribolium castaneum*）を対象として、先行研究によって確立された遺伝的に活動性が高い（H）系統と低い（L）系統を用いて、繁殖形質や捕食回避行動の比較を行った。その結果、雄の交尾成功と受精成功がH系統とL系統の間でトレードオフであることが明らかになり、捕食回避行動も選抜系統間で有意に異なった。これらの結果から、活動性の高低にはそれぞれメリットとデメリットがあり、それが活動性の個体差が集団内で維持される要因の一つである可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多くの生物において、「活動性」は、捕食者回避、交尾行動、社会性、個体群相互作用、群集構造など様々な生態的事象の中心となる形質である。一方で、活動性には個体差が見られることから、活動性の高低にはそれぞれ利益とコストが存在することが予想される。しかし、活動性の個体差に対する進化生態学的な実証研究は数少ないままであった。本研究によって、適応度に大きく直結する繁殖形質や捕食回避行動が活動性と遺伝相関であることが示唆されたことから、本研究結果は生物学的に重要である。また、本種はゲノム情報が明らかなモデル生物であるため、活動性の遺伝的基盤についても今後さらに調査が進むことが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, I compared reproductive traits and predation avoidance behavior between genetically high (H) and low (L) activity populations, which were established by previous study, in a model organism, the red flour beetle (*Tribolium castaneum*). The results revealed a trade-off between male mating success and fertilization success between the H and L populations, and predation avoidance behavior also differed significantly between the selected populations. These results suggest that there are advantages and disadvantages to high and low activity, respectively, and that this may be one of the factors that maintain individual differences in activity within a population.

研究分野：生態学

キーワード：活動性 人為選抜 進化生態学 行動生態学 性選択

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

多くの動物において、捕食者回避、交尾行動、社会性、個体群相互作用、群集構造など様々な生態学的事象は、個体の動的運動を基礎とする。このような動的運動は、「パフォーマンス形質」と呼ばれ、生物の進化において重要であることから、これまでに数多くの研究が行われてきた(例えば、Irschick et al. 2008; Rubenstein & Alcock 2019)。このパフォーマンス形質の一つとして、「活動性 (locomotor activity)」がある(図1)。高い活動性は、餌や交尾相手探索において有利であると予想されるが、その一方で、活動性にはしばしば個体差が見られる。この現象は、様々な形質を通じた相関関係によって生じる利益とコストの存在が、活動性の個体差が集団内で維持される原因の一つとして考えられている(Irschick et al. 2008)。この活動性における個体差の進化生態学的な意義を明らかにすることは、将来的にはパフォーマンス形質を中心とした個体間関係、地域個体群の特性そして群集構造の理解に繋がる可能性もある。高い活動性は、餌や交尾相手との遭遇、移動分散を導くとされる一方で、動的運動には資源の消費を伴うため、高い活動性はより多くの資源を消費する(図1)。したがって、活動性への投資によって、その他の形質に対する投資量が減少する可能性がある。活動性とその他の形質に対するトレードオフを実証することは、活動性の個体差が集団内で維持される現象の説明を可能とすると考えられる。パフォーマンス形質の進化を明らかにするうえでは、活動性の遺伝的基盤に焦点を当てた、その他の形質との資源配分の関係を明らかにすることが必要である。

高い個体		活動性	低い個体	
増加	交尾相手遭遇率		減少	
減少	繁殖への投資量		増加	
増加	捕食される危険		減少	
短い	発育期間		長い	
短い	寿命		長い	

図1.理論的に予想される異なる活動性間で様々な形質に及ぼす影響の違い

### 2. 研究の目的

本研究では、コクヌストモドキ (*Tribolium castaneum*) を対象として、活動性の遺伝的基盤に焦点を当てて、その利益とコストをそれぞれ明らかにするための実証研究を行うことを目的とした。先行研究によって、コクヌストモドキの活動性に対する人為選抜を12世代以上にわたって行った(Matsumura et al. 2022)。この選抜実験によって、遺伝的に活動性が高い(H)系統(図2の黒印)と、遺伝的に活動性が低い(L)系統(図2の白印)が作成された。選抜過程における遺伝浮動の影響を考慮して、選抜の繰り返し系統を4系統作成した(図2)。人為選抜法は、人為的な選択圧に対する形質の世代を経た変化を観察することを可能とするため、進化生態学的に重要な実験方法の一つである(Hill & Caballero 1992)。この選抜系統を用いて、雌雄の繁殖形質、生活史形質、遺伝子発現量をそれぞれ選抜系統間で比較する実験を行うことを本研究の目的とした。

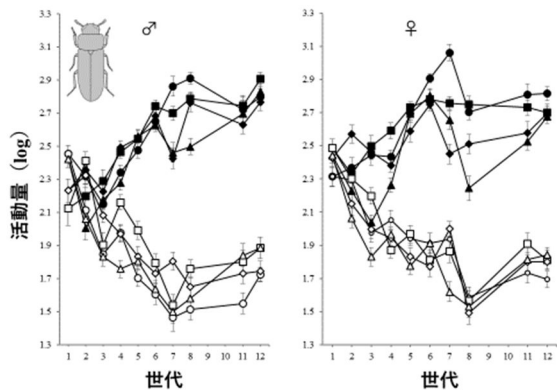


図2.コクヌストモドキの活動性に対する12世代にわたる人為選抜の結果。黒はH系統を白はL系統をそれぞれ示す。エラーバーは標準誤差を示す。各記号は4系統の繰り返し系統をそれぞれ示す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 1年目の研究

活動性と繁殖の関係を解明するために、H系統とL系統のコクヌストモドキを用いて、雄を対象とした、交尾活性、交尾行動、魅力度、父性をそれぞれ測定し、各形質を選抜系統間で比較した。

野外における行動や繁殖の実態を知るために、コクヌストモドキの野外個体群を採集し、行動形質や繁殖形質を各個体群間で比較する調査を行った。申請者は、日本各地を移動してコクヌストモドキの採集を行った。

#### (2) 2年目の研究計画

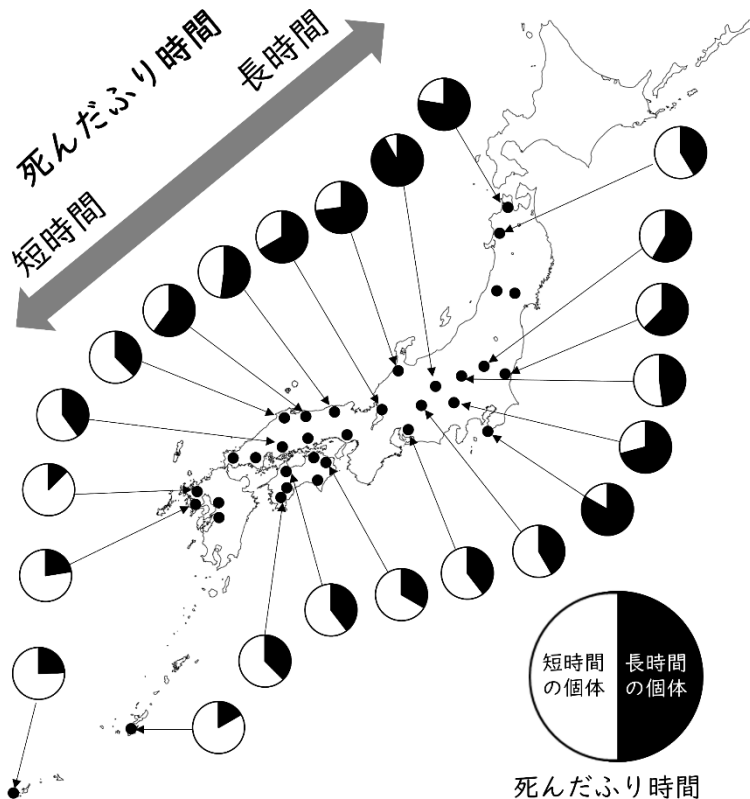
1年目に採集した野外他個体群のコクヌストモドキを用いて、行動形質や繁殖形質を各個体群間で比較した。

昆虫の動きを制御する遺伝子を解明するために、選抜系統由来のコクヌストモドキを用いて、次世代シーケンサーを用いたトランスクリプトーム解析およびリアルタイムPCRを行い、各遺伝子の発現量を選抜系統間で比較した。

### 4. 研究成果

活動性の異なるH系統とL系統を用いた雄の繁殖形質の比較により、H系統の雄は交尾成功率がL系統の雄よりも高いことが明らかになった。雌の選り好みの指標となる雄の魅力度においては、選抜系統間で差は見られなかった。一方で、交尾相手の雌が複数の雄と交尾した時の受精成功率（父性）は、L系統の雄の方がH系統の雄よりも有意に高かった。したがって、選抜系統間で交尾成功と父性の関係がトレードオフであることが明らかになった（Matsumura 2022）。この結果は、雄の繁殖においては異なる活動性の雄のそれぞれが繁殖成功を獲得し、それによって活動性の個体差が集団内で維持される原因の一つになりうることを示唆している。雌の繁殖形質や、生活史形質などの選抜系統間比較は、現在調査中である。これらの調査によって、動物行動の基盤となる活動性が、適応度に及ぼす影響を詳細に明らかにされることが期待される。

コクヌストモドキを対象とした野外調査により、青森県むつ市を最北とし、沖縄県西表島も最南として、約50カ所でコクヌストモドキの採集に成功した。実験室に持ち帰り2世代にわたって累代飼育することで母性効果を排除し、実験を行った。多くの動物が示す捕食回避行動である死んだふり行動を調べたところ、死にまね時間に野外系統間で有意差が見られ、緯度の増加とともに死にまね時間が長くなるような緯度クラインが示された。この結果は様々な環境要因の影響を受けていることを推測させるが、気温や捕食圧などによって高緯度ほど死にまね時間が長くなる方向へと選択圧が働いていることを示唆している（Matsumura & Miyatake 2023）。



また、野外系統間で繁殖形質を比較したところ、雄の繁殖成功率は低緯度の方が高いことが明らかになった。これは、高緯度よりも低緯度の方が選択圧は強く働いていることを示唆しており、実際に同様の報告がその他の昆虫でもされている（Matsumura et al. 2023）。また、体サイズは緯度の増加とともに雌雄とも増加するようなベルグマンクラインを示し、その他の動物種と一致することが明らかになった。これは、温度サイズ則に従った結果であることが示唆される。

運動活性を制御する遺伝子を解明するために、コクヌストモドキの選抜系統を対象にした次世代シーケンサーによるトランスクリプトーム解析が行われた。その結果、311個の遺伝子が選抜系統間で有意に発現量が異なっていた。さらに、それらの中から行動に関与するとされる6遺伝子に絞ってリアルタイムPCRを行ったところ、*NpF* 遺伝子のみが選抜系統間で有意に発現量が異なっていることが明らかになった。この結果から、コクヌストモドキの運動活性は *NpF* 遺伝子によって制御されていることが示唆された（Matsumura et al. 2024）。今後は、RNA干渉やゲノム編集による *NpF* 遺伝子の発現を制御した時のコクヌストモドキの運動活性を調べるのが課題である。

以上のように、本研究によって、動物における様々な形質の基盤となる「運動活性」の高低が適応度に与える影響を実験室内で明らかにし、さらに野外における捕食回避行動や繁殖形質の実態を明らかにすることが出来た。また、運動活性を制御する遺伝子の解明も達成できた。これらのことから本研究は、生物の進化生態学的研究をミクロからマクロのレベルで、実験室と野外の両方で行ったことから、生態学的に重要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Matsumura Kentarou, Yasui Yukio	4. 巻 188
2. 論文標題 Genetic link between mobility and sexual attractiveness in male <i>Tribolium castaneum</i> beetles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Animal Behaviour	6. 最初と最後の頁 111 ~ 117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.anbehav.2022.04.010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsumura Kentarou, Sasaki Ken, Miyatake Takahisa	4. 巻 35
2. 論文標題 Responses to artificial selection for locomotor activity: A focus on death feigning in red flour beetle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Evolutionary Biology	6. 最初と最後の頁 855 ~ 867
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jeb.14012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Matsumura Kentarou, Abe Masato S., Miyatake Takahisa	4. 巻 40
2. 論文標題 Responses to artificial selection of dispersal activity in the circadian rhythm of the red flour beetle <i>Tribolium castaneum</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Ethology	6. 最初と最後の頁 285 ~ 290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10164-022-00757-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Matsumura Kentarou, Miyatake Takahisa	4. 巻 52
2. 論文標題 Polygene control and trait dominance in death-feigning syndrome in the red flour beetle <i>Tribolium castaneum</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Behavior Genetics	6. 最初と最後の頁 298 ~ 305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10519-022-10108-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松村 健太郎	4. 巻 72
2. 論文標題 コクヌストモドキ <i>Tribolium castaneum</i> の歩行活性への人為選抜が雄の繁殖形質や脚に及ぼす影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本生態学会誌	6. 最初と最後の頁 179 ~ 186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18960/seitai.72.2_179	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Matsumura Kentarou, Miyatake Takahisa	4. 巻 151
2. 論文標題 Dominance and inheritance patterns of mobility and death feigning in beetle strains selected for moving activity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Genetica	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10709-022-00174-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsumura Kentarou	4. 巻 36
2. 論文標題 Trade off between pre and post copulatory traits depends on locomotor activity in male <i>Tribolium castaneum</i> beetles	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Evolutionary Biology	6. 最初と最後の頁 507 ~ 514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jeb.14157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsumura Kentarou, Miyatake Takahisa	4. 巻 19
2. 論文標題 Latitudinal cline of death-feigning behaviour in a beetle ( <i>Tribolium castaneum</i> )	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biology Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsbl.2023.0028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Waki Yuta, Yamamoto Yuto, Matsumura Kentarou	4. 巻 13
2. 論文標題 Habitat Characteristics of Coast Environments and Leg Morphology in the Flightless Supralittoral Weevil <i>Isonycholips gotoi</i> (Coleoptera, Curculionidae)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Elytra, New Series	6. 最初と最後の頁 163-173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsumura Kentarou, Wakabayashi Kyosuke, Kawakami Renya, Miyatake Takahisa	4. 巻 77
2. 論文標題 Latitudinal cline in reproductive traits in the red flour beetle <i>Tribolium castaneum</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Behavioral Ecology and Sociobiology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00265-023-03359-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ishikawa Motoya, Matsumura Kentarou, Miyatake Takahisa	4. 巻 42
2. 論文標題 Aggregation pheromone interrupts death feigning in the red flour beetle <i>Tribolium castaneum</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Ethology	6. 最初と最後の頁 71 ~ 75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10164-023-00793-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Matsumura Kentarou, Onuma Takafumi, Kondo Shinji, Noguchi Hideki, Uchiyama Hironobu, Yajima Shunsuke, Sasaki Ken, Miyatake Takahisa	4. 巻 14
2. 論文標題 Transcriptomic comparison between populations selected for higher and lower mobility in the red flour beetle <i>Tribolium castaneum</i>	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-50923-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Urasaki Kimiko, Matsumura Kentarou, Miyatake Takahisa	4. 巻 59
2. 論文標題 Spatio-temporal distribution of adults and eggs of the West Indian sweetpotato weevil <i>Euscepes postfasciatus</i> (Coleoptera: Curculionidae) on sweet potato stems	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Applied Entomology and Zoology	6. 最初と最後の頁 117 ~ 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13355-024-00861-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nishitani Toshiki, Matsumura Kentarou, Postma Erik, Sharma Manmohan Dev, Hosken David J, Miyatake Takahisa	4. 巻 78
2. 論文標題 Experimental quantification of genetic and ontogenetic effects on fighting behavior in the broad-horned flour beetle	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Behavioral Ecology and Sociobiology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00265-024-03451-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 松村健太郎
2. 発表標題 コクヌストモドキの歩行に注目した行動生態学的研究
3. 学会等名 日本動物行動学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松村健太郎、若林恭輔、川上怜也、宮竹貴久
2. 発表標題 コクヌストモドキの行動や繁殖における地理的変異
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 脇悠太、山本悠渡、松村健太郎
2. 発表標題 ハマベゾウムシが生息する海浜環境の特徴および脚の形態について
3. 学会等名 日本応用動物昆虫学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 松村健太郎、若林恭輔、宮竹貴久
2. 発表標題 オスの繁殖形質に見られた緯度クライン：コクヌストモドキでの発見
3. 学会等名 日本動物行動学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松村健太郎
2. 発表標題 コクヌストモドキにおける運動活性の違いが生活史形質や繁殖形質に及ぼす影響
3. 学会等名 日本応用動物昆虫学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松村健太郎
2. 発表標題 雄の移動活性の違いが交尾後の性選択に及ぼす影響の検証
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2023年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

researchmap <a href="https://researchmap.jp/matsuken817">https://researchmap.jp/matsuken817</a> 岡山大学研究者総覧 <a href="https://soran.cc.okayama-u.ac.jp/html/86f158141f60412c587ce9df1975c665_ja.html">https://soran.cc.okayama-u.ac.jp/html/86f158141f60412c587ce9df1975c665_ja.html</a> 松村健太郎Kentarou Matsumuraのウェブページ <a href="https://sites.google.com/view/matsuken817/%E3%83%9B%E3%83%BC%E3%83%A0?authuser=0">https://sites.google.com/view/matsuken817/%E3%83%9B%E3%83%BC%E3%83%A0?authuser=0</a>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------